

Brief English Description of German Patent Application Number DE 195 20 276 A1

The invention relates to methods and devices for the efficient threading in of ions, which have been generated in a gas volume, into the suctioning air stream of an aperture, the diameter of which is small in comparison to the extent of the gas volume. The aperture can be an introductory aperture for ions into the vacuum system of a mass spectrometer, or however the end aperture of a capillary which transfers ions into the vacuum of the mass spectrometer. The invention consists of an electrical drawing field for generating the ions, the lines of force of which point to the edge of the aperture or into the aperture itself and allow the ions, directed by the field, to migrate through the ambient gas to the aperture. The field-guided migration of the ions through the gas is known as "ion mobility". Near the aperture, the ions are caught by the suctioning gas stream and entrained into the aperture by viscous friction. Due to the field-guided migration, the ions can be transferred in this way from a zone with a complex gas mixture into one with a pure gas.



71 Anmelder:
Bruker - Franzen Analytik GmbH, 28359 Bremen, DE

72 Erfinder:
Franzen, Jochen, 28359 Bremen, DE

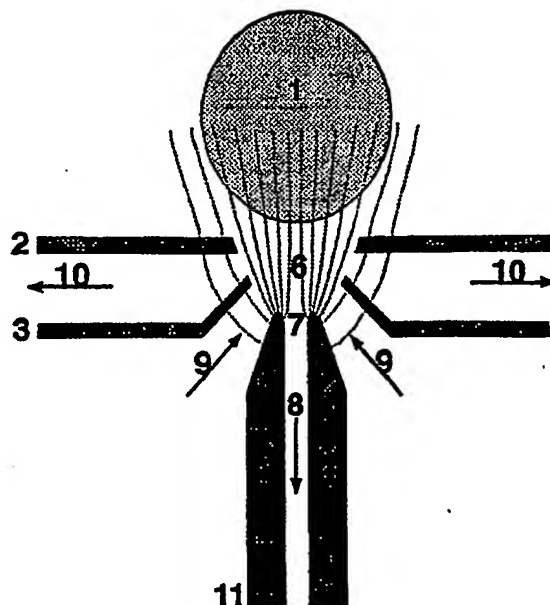
56 Entgegenhaltungen:
DE 43 03 027 A1
US 53 04 798 A
US 52 98 743 A
WO 89 12 313 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung für die Einführung von Ionen in den Gasstrom einer Öffnung zu einem Massenspektrometer

57 Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen für die effiziente Einfädelung von Ionen, die in einem Gasvolumen erzeugt worden sind, in den saugenden Luftstrom einer Öffnung, deren Durchmesser klein ist gegenüber der Ausdehnung des Gasvolumens. Die Öffnung kann eine Einführungsöffnung für Ionen in das Vakuumssystem eines Massenspektrometers sein, oder aber die Stimöffnung einer Kapillare, die Ionen ins Vakuum des Massenspektrometers überführt.

Die Erfindung besteht darin, ein elektrisches Ziehfeld für die Ionen zu schaffen, dessen Kraftlinien auf den Rand der Öffnung oder in die Öffnung hinein weisen und die Ionen feldgeführt durch das Umgebungsgas zur Öffnung wandern läßt. Die feldgeführte Wanderung der Ionen durch das Gas ist als "Ionenmobilität" bekannt. In der Nähe der Öffnung werden die Ionen vom saugenden Gasstrom erfaßt und durch viskose Reibung in die Öffnung hinein mitgenommen. Durch die feldgeführte Wanderung können die Ionen dabei aus einer Zone mit einem komplexen Gasgemisch in ein sauberes Gas überführt werden.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen für die effiziente Einfädelung von Ionen, die in einem Gasvolumen erzeugt worden sind, in den saugenden Luftstrom einer Öffnung, deren Durchmesser klein ist gegenüber der Ausdehnung des Gasvolumens. Die Öffnung kann eine Einführungsöffnung für Ionen in das Vakuumsystem eines Massenspektrometers sein, oder aber die Stirnöffnung einer Kapillare, die Ionen ins Vakuum des Massenspektrometers überführt.

Die Erfindung besteht darin, ein elektrisches Ziehfeld für die Ionen zu schaffen, dessen Kraftlinien auf den Rand der Öffnung oder in die Öffnung hinein weisen und die Ionen feldgeführt durch das Umgebungsgas zur Öffnung wandern läßt. Die feldgeführte Wanderung der Ionen durch das Gas ist als "Ionenmobilität" bekannt. In der Nähe der Öffnung werden die Ionen vom saugenden Gasstrom erfaßt und durch viskose Reibung in die Öffnung hinein mitgenommen. Durch die feldgeführte Wanderung können die Ionen dabei aus einer Zone mit einem komplexen Gasgemisch in ein sauberes Gas überführt werden.

Allgemeiner Stand der Technik

Substanz-Ionen für massenspektrometrische Untersuchungen können vorteilhaft außerhalb des Massenspektrometers erzeugt und in das Vakuum des Massenspektrometers überführt werden. Die Vorteile liegen einerseits in einer wesentlich höheren Ionisierungsausbeute als bei der Ionisierung im Vakuum, andererseits in einer weit geringeren Verschmutzung des Massenspektrometers, da die Substanzdämpfe nicht in das Vakuumsystem eingeführt werden müssen. Massenspektrometer und Substanzeinlaßsysteme brauchen daher auch nicht mehr in komplizierter Weise geheizt zu werden.

Zu den vakuum-externen Ionenquellen gehört beispielsweise das Elektrosprühen (ESI), mit dem Substanzen außerordentlich hoher Molekulargewichte mit hoher Ausbeute ionisiert werden können. Auch die Ionenquellen mit Ionenerzeugung in induktiv gekoppeltem Plasma (ICP), die für die anorganische Analytik gebraucht werden, gehören zu dieser Gruppe.

Schließlich gibt es die chemische Ionisierung von Molekülen bei Atmosphärendruck durch verschiedenartige Reaktantgasionen (APCI), mit einer primären Ionisierung der Reaktantgase durch Corona-Entladungen, durch UV-Lampen oder durch Betastrahler, die für die Analyse von Schadstoffen oder anderen dampfförmig in Luft befindlichen Substanzen eingesetzt werden. Die Entwicklung weiterer Arten externer Ionenquellen ist zu erwarten.

Die extern erzeugten Ionen werden entweder durch feine Wandöffnungen von 30 bis 300 Mikrometer Durchmesser oder durch Kapillaren mit 300 bis 500 Mikrometer innerem Durchmesser ins Vakuum gebracht. Den beiden Arten der Einführung ist gemeinsam, daß mit den Ionen zusammen gleichzeitig sehr große Mengen an Umgebungsgas in das Vakuum des Massenspektrometers eintritt, die Ionen werden dabei durch das Umgebungsgas viskos mitgenommen und so aus dem Außenraum in die Einlaßöffnung und durch diese in das Vakuum geführt.

Solange die angesaugte Gasmenge groß ist und genügend Ionen mit ins Vakuum nimmt, ist diese einfache Art der Zuführung von Ionen zur Öffnung zufriedenstellend. Sowohl beim Elektrosprühen, wie auch bei ICP wurden

bisher Öffnungen ohne jede besondere Führung der Ionen verwendet. Es steht jedoch zu erwarten, schon aus Gründen der Pumpkapazitäten und der Preise für große Pumpsysteme, daß in Zukunft feinere Öffnungen von 5 bis 30 Mikrometer Durchmesser oder feinere Kapillaren von 10 bis 300 Mikrometer innerem Durchmesser benutzt werden. Dabei wird weit weniger Gas angesaugt. Die Ionen müssen daher der Öffnung gezielt zugeführt werden. Auch bei Ionisierungsverfahren, die eine relativ geringe Ionendichte erzeugen, wäre es vorteilhaft, die Ionen aus dem Gasvolumen auskämmen und unabhängig vom Gastransport zur Eintrittsöffnung zur Öffnung des Massenspektrometers hin transportieren zu können.

Für die Führung der Ionen nach ihrem Eintritt in das Vakuumsystem bis hin zum Massenspektrometer sind sowohl stationäre Linsensysteme, wie auch Ionenleitvorrichtungen auf Hochfrequenz-Multipol-Basis bekannt geworden. Außerhalb des Vakuums aber hat man bisher keine besonderen Führungssysteme für die Ionen entwickelt.

Aufgabe der Erfindung

Es ist die Aufgabe der Erfindung, Verfahren und Vorrichtungen zu finden, mit denen Ionen aus einem größeren Gasvolumen gezielt einer feinen Einlaßöffnung eines Vakuumsystems zugeführt werden können. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, dabei die Dichte der Ionen im Gasvolumen zu erhöhen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Ionen aus dem Gasgemisch des Gasvolumens, in dem sie erzeugt worden sind, in ein reines Gas zu überführen, um nur das reine Gas mit den Ionen in das Vakuum zu überführen.

Erfindungsgedanke

Es ist der Grundgedanke der Erfindung, die Ionen im Gas durch elektrostatische Felder zur Eingangsöffnung des Vakuumsystems wandern zu lassen. Dieser Vorgang der feldinduzierten Wanderung von Ionen durch Gas ist an sich bekannt und unter dem Begriff der Ionenmobilität relativ gut untersucht worden. Die Ionen bewegen sich dabei nicht nach den ionenoptischen Gesetzen, wie sie bei Bewegung von Ionen in elektrischen Feldanordnungen im Vakuum gelten. Bei der Bewegung im Vakuum spielt die Masse der Ionen und der Einfluß der Trägheit auf die Bewegung eine überragende Rolle. In Gasen ist dagegen die Wanderung der Ionen durch die fortlaufend erlittenen Stöße mit den Gasmolekülen ständig gebremst; die Ionen folgen dabei in einer langsamen Diffusionsbewegung genau den elektrischen Kraft- oder Feldlinien, die bekanntlich senkrecht zu den Äquipotentialflächen angeordnet sind.

Wegen der anderen Art der Bewegungsgesetze kann eine günstige Ausbildung der elektrischen Felder für die Zuführung der Ionen nicht durch die weitverbreiteten Rechenprogramme für ionenoptische Bahnberechnungen (beispielsweise das Programm SIMION) bestimmt werden.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht also im Detail darin, ein elektrisches Feld zu erzeugen, bei dem die elektrischen Feldlinien aus dem ionenführenden Gasvolumen heraus möglichst konzentriert auf den Rand der Öffnung zum Vakuumsystem hin oder — noch besser — in die Öffnung hineinführen. Auf diese Weise wandern die Ionen aus dem Gasvolumen durch ihre Ionenmobilität auf die Öffnung zu. In der Nähe der Öffnung — oder

in der Öffnung — werden sie dann vom Saugstrom des Gases erfaßt und viskos in das Vakuum hinein mitgenommen.

Die Feldlinien lassen sich am besten auf den Rand der Öffnung bündeln, wenn die Öffnung als eine Ringschneide ausgebildet ist, wenn also der Außenrand der Öffnung als Kegel ausgebildet ist, an dessen Spitze sich die Öffnung befindet. Diese Ausführung ist optimal, wenn die Umgebung der Öffnung elektrisch leitend ist, beispielsweise, wenn sich die Öffnung in einer metallischen Wand befindet. In weiterer Entfernung von der Kegelspitze bildet sich dabei ein Radialfeld aus, das auf die Kegelspitze weist. Es ist also Grundgedanke der Erfindung, die Öffnung zum Vakuum an der Spitze eines Kegels anzuordnen, und die Ionen in diesem Radialfeld bis in die Nähe der Öffnung wandern zu lassen. In unmittelbarer Nähe der Öffnung werden die Ionen durch das elektrische Feld zur Ringschneide der Öffnung hingeführt, dabei aber vom saugenden Luftstrom abgelenkt und in die Öffnung hinein mitgenommen. In unmittelbarer Nähe der Öffnung nimmt die Gasgeschwindigkeit in die Öffnung hinein derartig zu, daß die Ionen durch die zunehmende Gasgeschwindigkeit erfaßt und viskos in die Öffnung hinein geführt werden.

Die Ringschneide darf nicht völlig scharf sein, da die Feldstärke vor der Schneide reziprok zum Schneidenradius wächst. Bei einer sehr scharfen Schneide ist also ein größeres Potential notwendig, um im Außenraum die gleiche Feldverteilung zu erzeugen. Außerdem können dann Ionen, die sich dicht vor der Schneide befinden, nicht mehr durch den Gasstrom von der Schneide hinweg in die Öffnung hinein gezogen werden. Es ist daher günstig, die Schneide mit einem kleinen Radius abzustumpfen. Der Radius sollte etwa zwischen einem Viertel und dem Doppelten des Öffnungsradius liegen. Eine solche Abrundung der Schneide verbessert auch den Gaseinlauf in die Öffnung hinein. Im Falle einer Kapillare wird eher eine laminare Strömung in der Kapillare erreicht.

Das Radialfeld um den Kegel herum kann dabei durch weitere kegelförmige oder ebene Aperturblenden vor der Einlaßöffnung günstig geformt werden.

Für die Einführung von Ionen in eine Einlaßöffnung in einem isolierenden Material, beispielsweise Glas oder Quarzglas, bietet sich eine noch bessere Art der Ioneneinführung an. Die Ringelektrode, von der die elektrischen Kraftlinien ausgehen, kann hier im Inneren des Kanals in der Öffnung angebracht werden. Die elektrischen Kraftlinien gehen dabei zu Beginn der Ioneneinführung zum Teil durch das Material hindurch. Durch Oberflächenladungen, die nicht abfließen können, bildet sich aber nach sehr kurzer Zeit ein Kraftlinienfeld, das in die Öffnung hinein zur Ringelektrode führt. Die weitere viskose Mitnahme der Ionen ist hier leichter, da an der Ringelektrode bereits fast die maximale Gasgeschwindigkeit herrscht. Auch in diesem Fall kann das Feld außerhalb der Öffnung durch Aperturblenden vor der Öffnung günstig geformt werden.

Es ist ein weiterer Grundgedanke der Erfindung, ein sauberes Gas zwischen der Öffnung und den davor angeordneten Aperturblenden zufließen zu lassen. Solange die Strömungsgeschwindigkeit des Gases wesentlich kleiner ist als die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen, wandern die Ionen in dieses saubere Gas hinein, und nur dieses saubere Gas wird dem Massenspektrometer zugeführt.

Beschreibung der Bilder

Fig. 1 zeigt ein Beispiel mit einer Öffnung in einem leitenden Material. Ein Gasvolumen (1) mit darin enthaltenen Ionen befindet sich vor einer Eintrittsöffnung (7) in einer Wand (4) eines Massenspektrometers, mit einer konisch geformten Aperturblende (3) und einer ebenen Aperturblende (2) vor der Eintrittsöffnung (7). Die Eintrittsöffnung (7) ist mit einer konisch geformten Ringschneide umrandet. Die Ringschneide ist nicht scharf, sondern leicht gerundet, um die Kraftliniendichte (und damit die Potentialdifferenzen) nicht zu groß werden zu lassen. Durch die Eintrittsöffnung (7) fließt der Gasstrom (8) in das Massenspektrometer. Durch geeignete Potentiale an der Ringschneide und an den Aperturblenden (3) und (2) wird das Feld (6) der elektrischen Kraftlinien geformt. Die Ionen wandern aus dem Gasvolumen (1) entlang der elektrischen Kraftlinien (6) auf die Ringschneide um die Öffnung (7) herum zu. In der Nähe der Öffnung werden sie durch den Gasstrom (8) in die Öffnung (7) hineingezogen. Ein sauberer Gasstrom (9), der zwischen Wand (4) und Aperturblende (3) zugeführt wird, verhindert den Zutritt des Gases aus dem Gasvolumen (1) zur Eintrittsöffnung (7). Ein Überschuß des Gasstroms (9) kann als Gasstrom (10) zwischen den Aperturblenden (3) und (4) abgesaugt werden. Fig. 2 zeigt eine Anordnung wie in Fig. 1, jedoch führt die Eintrittsöffnung (7) in eine Eintrittskapillare (11) hinein statt durch die Wand (4) des Vakuumsystems.

Fig. 3 zeigt die Einführung von Ionen in eine Glaskapillare. Es ist nur der stirnseitige Kopf der Glaskapillare (20) gezeigt. Die Glaskapillare (20) hat einen gerundeten, trichterförmigen Einlauf, um die Ausbildung einer laminaren Strömung (21) zu erleichtern. Fast am Ende des trichterförmigen Einlaufs ist eine metallische Ringelektrode (22) aufgebracht. Diese ist durch eine Zuführung (23), die durch das Glas der Kapillare (20) führt, mit einem Potential versehen, das das elektrische Feld (25) aufbaut. Vor der Einlaßöffnung befindet sich wieder eine Aperturblende (24). Die elektrischen Feldlinien durchschneiden vor Ankunft von Ionen das Glasmaterial, wie in Teil A der Fig. 3 dargestellt. Sobald die Einführung von Ionen beginnt, wandern Ionen längs der Kraftlinien (25) auf die Glasoberfläche und bauen dort eine Ladungsschicht auf, die nicht abfließen kann. Der Aufbau dieser Schicht wird solange fortgesetzt, bis eine Ladungskonstellation erreicht ist, bei der keine Kraftlinien mehr das Glas schneiden. Die Kraftlinien führen jetzt durch die Öffnung zur Ringelektrode, wie in Teil B der Fig. 2 dargestellt, ideal für die Einführung von Ionen in die Kapillare. Das Kraftlinienfeld ist selbsterhaltend. Sobald Oberflächenladungen abzufließen beginnen, wird die Oberflächenladung durch weitere Ionen erneuert.

Fig. 4 zeigt den Aufbau eines Kapillarenkopfes mit Ringelektrode nach Fig. 3 in einer sehr einfachen Sandwich-Bauweise. Auf eine dickwandige Glaskapillare (30) ist koaxial eine metallische Elektrodenringkappe (31) aufgeklebt. Auf diese Elektrodenringkappe (31) ist eine elektrisch isolierende Ringkappe (32) mit einer günstig geformten Einlaufstrecke aufgebracht. Diese Ringkappe (32) kann aus Glas oder aus Kunststoff gefertigt sein.

Besonders günstige Ausführungsformen

Eine besonders günstige Ausführungsform, die sich auch leicht herstellen läßt, ist in Fig. 4 gezeigt. Sie bezieht sich auf den Einlaß der Ionen in eine Kapillare. Ein

ähnliche Anordnung mit einer abdeckenden Isolatorscheibe kann aber auch für die Öffnung in einer Vakuumwand gewählt werden.

Auf die stumpfe Stirnseite einer dickwandigen Glaskapillare (30) ist hier eine dünnwandige Metallringkappe (31) aufgeklebt, die an der freiliegenden Seitenwand leicht mit Spannung versorgt werden kann. Diese Metallringkappe ist von einer isolierenden Ringkappe (32) überdeckt, die in der Mitte einen gerundeten Einlauftrichter für das einströmende Gas hat. Die isolierende Ringkappe kann besonders vorteilhaft aus Teflon bestehen, da Teflon auch bei hoher Luftfeuchtigkeit praktisch keine elektrische Oberflächenleitfähigkeit besitzt.

Die elektrischen Kraftlinien, die bei Anlegen einer Spannung von der Metallringkappe ausgehen, durchsetzen anfangs auch die Teflonkappe, ähnlich wie das schematisch in der Anordnung der in Fig. 3A gezeigt ist. Ziehen die Kraftlinien dann Ionen an, die im Außenraum erzeugt werden, so bewegen sich die Ionen zunächst auch auf die Teflonkappe zu. Sie setzen sich dort auf der Oberfläche ab. Ihre Ladung baut dabei ein elektrisches Feld auf, das sich dem herrschenden elektrischen Feld überlagert, und das bei Sättigung den weiteren Zufluß von Ionen gerade verhindert. Die elektrischen Kraftlinien erscheinen dann aus der Teflonkappe verdrängt, sie laufen von der im Inneren der Einlaßöffnung freiliegenden Metallringkappe nur noch durch die Einlauföffnung, ähnlich wie das wie in Fig. 3B schematisch dargestellt ist.

Das durch die Einlaßöffnung ins Vakuum einströmende Gas hat an der Metallringkappe bereits seine maximale Geschwindigkeit erreicht. Die Ionen werden daher zum großen Teil von der Gasströmung viskos mitgerissen und durch die kapillare ins Vakuum überführt. Wie in der Patentanmeldung BFA 19/95 beschrieben, können sie in der Kapillare gasdynamisch fokussiert werden, so daß weitere Verluste innerhalb der Kapillare vermieden werden können.

Das elektrische Feld kann im Raum vor der Einlaßöffnung durch koaxial angeordnete konische oder ebene Aperturblenden (2, 3) günstig geformt werden. Die Potentiale, die an diese Aperturblenden zu legen sind, werden am besten experimentell bestimmt, indem eine maximale Ioneneinführung in die Kapillare eingestellt wird. Das läßt sich mit dem Detektor des internen Massenspektrometers leicht feststellen.

Ist das Gasvolumen, in dem die Ionen erzeugt werden, stark mit Substanzen angereichert, deren Einführung in das Vakuumsystem des Massenspektrometers nach Möglichkeit vermieden werden soll, so können die Ionen erfindungsgemäß in einen sauberen Gasstrom überführt werden. Dazu wird zwischen Einlaßöffnung und erster Aperturblende ein sauberes Gas (9) zugeführt. Der Mengenfluß dieses Gases ist so einzustellen, daß nur dieses Gas in die Einlaßöffnung einfließt. Die Führung dieses Gases kann durch eine Formung der ersten Aperturblende unterstützt werden. Der Fluß des Gases durch die Aperturblende nach außen muß dabei eine geringere Geschwindigkeit haben, als es der Ionenmobilitätsgeschwindigkeit der schwersten Ionen entspricht.

Der überschüssige Gasstrom (10) nach außen kann auch durch den Zwischenraum zwischen erster und zweiter Aperturblende abgesaugt werden, wie es in den Fig. 1 und 2 dargestellt ist.

Es ist auch möglich, das saubere Gas zwischen der ersten und zweiten Aperturblende zuzuführen, und den Überschuß zwischen Einlaßöffnung und erster Aperturblende abzusaugen. Der Gasfluß ist dann günstiger für

die Ionenführung, aber es gerät auch leichter Gas aus dem verschmutzten Gasvolumen in die Einlaßöffnung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überführung von Ionen aus einem Gasvolumen in eine feine Einlaßöffnung, die einen Strom von Gas in das Vakuumsystem eines Massenspektrometers einläßt, mit einer Führung der Ionen in einem elektrostatischen Feld, dadurch gekennzeichnet, daß sich um die Einlaßöffnung eine Ringelektrode angeordnet ist, und daß die elektrischen Kraftlinien des elektrostatischen Führungsfeldes zwischen Gasvolumen und Einlaßöffnung im wesentlichen auf die Ringelektrode der Einlaßöffnung gebündelt sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringelektrode aus einer elektrisch leitenden Ringschneide besteht, die den Rand der Einlaßöffnung bildet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringschneide mit einem Schneidenradius von 10 bis 200 Mikrometer abgestumpft ist, um die Feldstärke am Schneidenrand nicht zu groß werden zu lassen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsöffnung eine feine Öffnung von 5 bis 500 Mikrometer Durchmesser in einer Wand des Massenspektrometers ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsöffnung die Stirnöffnung einer Einlaßkapillare mit einem Innendurchmesser zwischen 5 und 1000 Mikrometer ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Ringelektrode an der Innenwand der Kapillare in der Nähe der Einlaßöffnung befindet, und daß die Kapillare in der Umgebung der Einlaßöffnung nichtleitend ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Ringelektrode am Ende einer gerundeten, trichterförmigen Einlaufstrecke befindet.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Einlaßöffnung konische oder ebene Aperturblenden zur Formung des elektrischen Feldes angeordnet sind.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Einlaßöffnung und erster Aperturblende, oder zwischen weiteren Aperturblenden ein sauberes Gas so zugeführt wird, daß zusammen mit den Ionen nur sauberes Gas in die Einlaßöffnung eintritt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an die Ringelektrode der Einlaßöffnung ein Potential von 100 bis 10000 Volt gegenüber dem Potential des ionenenthaltenden Gasvolumens angelegt wird.
11. Vorrichtung aus einer Kapillare, die Ionen mit Gas zusammen in das Vakuumsystem eines Massenspektrometers überführen soll, und einer Spannungsversorgung, dadurch gekennzeichnet, daß in der isolierenden Einlaufstrecke der Kapillare eine leitende Ringelektrode angebracht ist, die durch die Spannungsversorgung auf ein ionenanziehendes elektrisches Potential gelegt wird.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß am stumpfen Stirnende der Kapillare ein dünner Metallring, dessen freiliegende Innenfläche die Ringelektrode bildet, coaxial befestigt wird und daß auf dem Metallring wiederum 5
coaxial ein elektrisch isolierender Ring mit einer Gaseinlaufstrecke befestigt wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaseinlaufstrecke eine gerundete Trichterform hat. 10

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß Metallring und isolierender Ring als Kappen ausgebildet sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

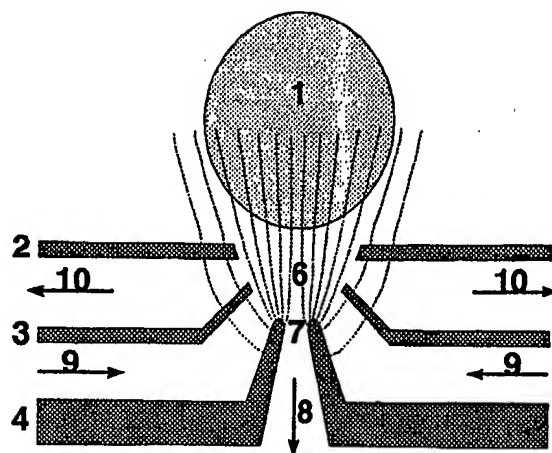
50

55

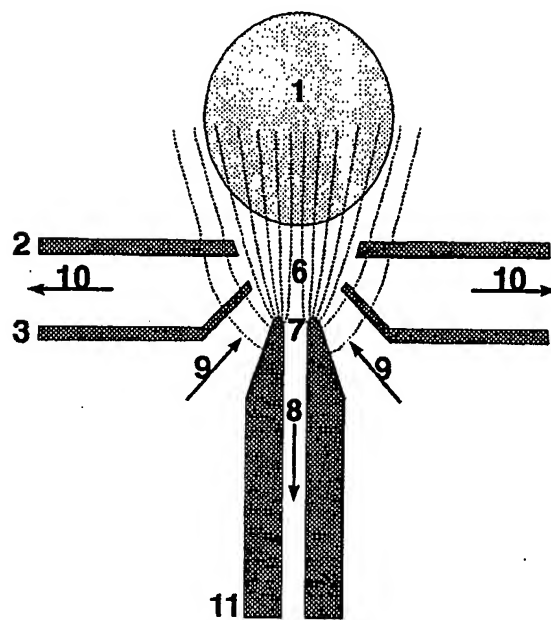
60

65

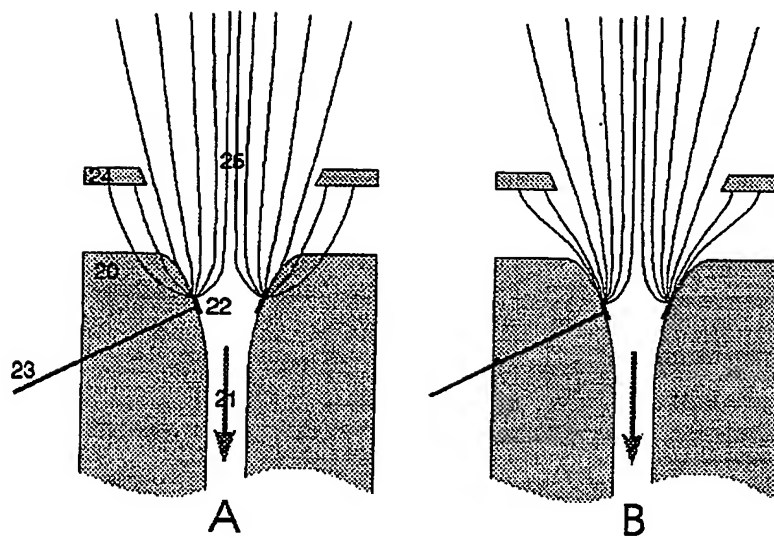
- Leerseite -



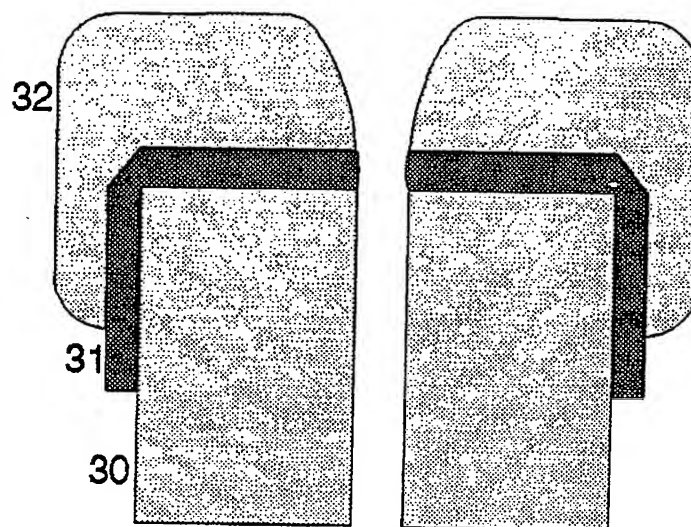
Figur 1



Figur 2 *



Figur 3



Figur 4